

# 「環境配慮型創エネ焼却システム」に関する実証

## Environmentally-friendly Energy Creation Incineration System Demonstration



渡邊 圭\*  
Kei Watanabe



迫田健吾\*\*  
Kengo Sakoda



尾家俊康\*\*  
Toshiyasu Oya



吉田成希\*\*  
Shigeki Yoshida



眞野文宏\*  
Fumihiro Mano



福富裕太\*  
Yuta Fukutomi

下水道事業では汚泥焼却炉の性能指標として「廃熱回収率40%以上かつ消費電力削減率20%以上」が国土交通省より提示された。この指標を達成するため、当社では「流動空気タービンシステム」と「バイナリー発電システム」により構成される、新しい汚泥焼却システムの開発に取り組んだ。実施設での実証試験を通じて、性能指標を満足する廃熱回収率及び消費電力削減率が得られることを確認し、さらに当社が所有する気泡式高効率二段燃焼技術を併用することで、温室効果ガス削減に関して大きな効果が期待できる試算結果が得られた。

As the need to prevent global warming increases, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has proposed a “waste heat recovery rate of 40 % or more and power consumption reduction rate of 20 % or more” as a performance index for sludge incinerators. To achieve this index, we worked on the development of a new sludge incineration system consisting of a “Fluid Air Turbine System” and a “Binary Power Generation System”. Through demonstration tests at actual facilities, it was confirmed that the waste heat recovery rates and power consumption reduction rates that satisfy the performance index were obtainable. And by using the “Bubble-type High-efficiency Two-stage Incinerator”, our own technology, in combination, estimated results that can be expected to have a large effect in reducing greenhouse gases were obtained.

### Key Words :

下水汚泥焼却炉

Sewage sludge incinerator

流動空気タービンシステム

Fluid Air Turbine System

バイナリー発電システム

Binary Power Generation System

気泡式高効率二段燃焼炉

Bubble-type High-efficiency Two-stage Incinerator

### 【セールスポイント】

- ・ 焼却排ガスを熱源として流動空気タービンを運転し、電力を使用せずに焼却炉に燃焼用空気を供給可能。
- ・ 白煙防止空気を熱源として昇温した加圧水をバイナリー発電機に供給して発電可能。
- ・ 国土交通省より提示された性能指標を満足する廃熱回収効率および消費電力削減率を確認。
- ・ 気泡式高効率二段燃焼の併用によって温室効果ガスを大幅に削減可能。

\*技術開発センター プロセス技術開発部 基盤技術室

\*\*環境エンジニアリング事業本部 水環境技術本部 資源循環技術部

## まえがき

地球温暖化防止の必要性が高まる中、日本では2016年5月に「地球温暖化対策計画」が策定され、温室効果ガス排出量に関する中期目標「2030年度に2013年度比で26 %削減」の達成及び長期的目標「2050年までに80 %削減」を見据えた戦略的取り組みが必要とされている。

下水道事業では、主に電力として多くのエネルギーが消費されており、下水汚泥焼却でも電力の削減が必要である。また、下水汚泥の焼却に伴い排出される一酸化二窒素（以下、 $N_2O$ ）は、二酸化炭素（以下、 $CO_2$ ）の約300倍の温室効果があるといわれており、処理施設から排出される温室効果ガス排出総量の約20 %を占めている。これらのことから、下水汚泥の未利用エネルギーの有効活用により消費電力量を削減し、かつ $N_2O$ 排出量を削減できる下水汚泥焼却システムが求められている。さらに、2017年5月には、国土交通省発表の「下水道事業におけるエネルギー効率に優れた技術の導入について（国水下車第38号）」において、今後導入される焼却炉の性能指標として、「廃熱回収率40 %以上かつ消費電力削減率20 %以上」が提示されたため、未利用エネルギーの有効利用に対する必要性は、今後ますます高まると考えられる。

当社は国土交通省が求める性能を達成するため、下水汚泥焼却炉の未利用エネルギーを有効利用する【環境配慮型創エネ焼却システム】を考案し、神奈川県との共同研究を通じてその検証を行った。本報では、共同研究に用いたシステムの概要と、その導入効果について報告する。

## 1. システムの概要

本共同研究に用いる【環境配慮型創エネ焼却システム】は、「流動空気タービンシステム」と「バイナリー発電システム」により構成される。下水汚泥焼却システムの焼却炉から発生する排ガスの熱エネルギーを利用して、前者により省エネルギー化、後者によりエネルギー創出を行い、消費電力量の削減および温室効果ガス排出量の削減に寄与する技術である。

システムの標準的なフローを図1に示す。流動空気タービンシステムは、下水汚泥焼却で最も電力を消費する流動ブロワ（焼却炉に燃焼用空気を供給する機器）の代替として、電力を使用しない流動空気タービンを使用する省エネシステムである。また、バイナリー発電システムは、焼却炉から排出された排ガスの熱エネルギーで昇温された白煙防止空気を利用して発電する創エネシステムである。

### 1.1 流動空気タービンシステム

流動空気タービンシステムは「高温高压空気により回転するタービン部」と、「回転して、空気を吸引、圧縮するコンプレッサ部」が軸で一体となった機器であり、高温高压空気によるタービン部の回転でコンプレッサ部を回転させ、空気を吸引、圧縮する。これは船舶や自動車で標準的に使用されている過給機と同じものであるが、本共同研究においては排ガスの熱エネルギーを動力源としている。

流動空気タービンシステムが焼却炉へ燃焼用空気を供給するフローを図2に示す。流動空気タービンシステムでは、空気予熱器にて排ガスの熱エネルギーと熱交換して得られる高温高压空気を供給してタ

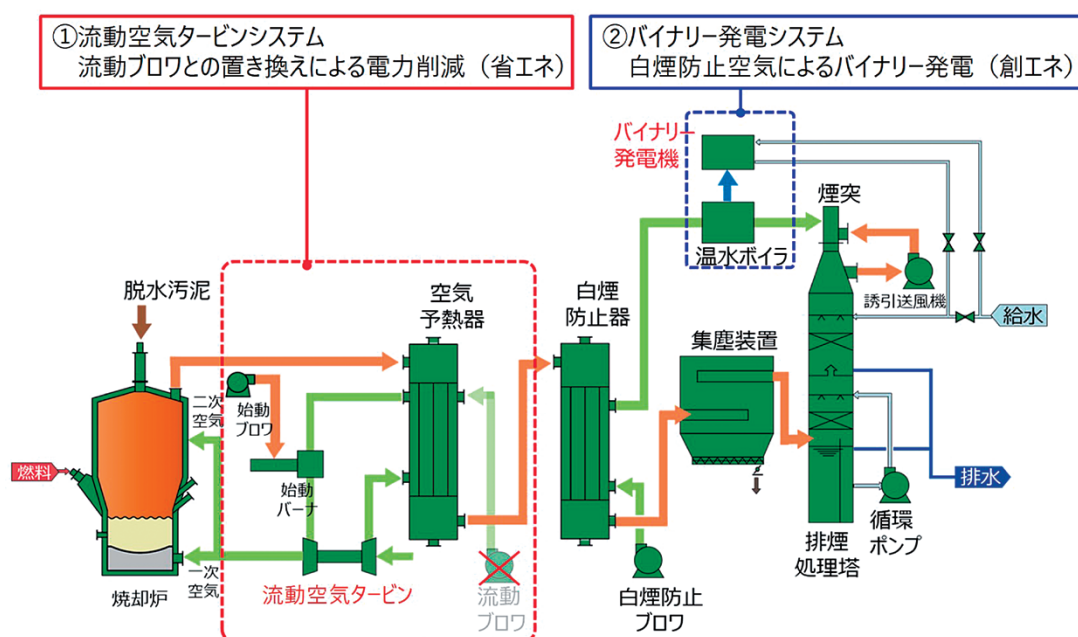


図1 環境配慮型創エネ焼却システムのフロー

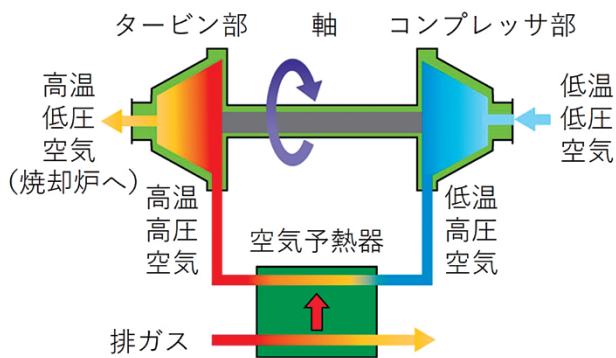


図2 流動空気タービンシステム

タービン部を回転させ、その回転でコンプレッサ部が空気を吸引、圧縮する。排ガスの熱エネルギーが十分であれば、電力を使用せずに焼却炉に燃焼用空気を供給する「自吸状態」となる。ただし、起動時は始動用のブロワとバーナで高温高圧空気を生成し、タービン部を強制的に回転させてコンプレッサ部を回す必要がある。空気予熱器を経由する空気の温度が十分に上昇した時点で始動用のブロワとバーナを停止し、流動空気タービンを自吸状態にする。

### 1.2 バイナリー発電システム

下水汚泥焼却において、焼却炉から排出された排ガスの熱エネルギーは燃焼用空気の昇温と白煙防止空気の昇温に利用され、使い切れず余った熱エネルギーは一般的には煙突から排出される。その余剰の熱エネルギーを利用して発電するのが、バイナリー発電システムである。

バイナリー発電システムの原理を図3に示す。バイナリー発電とは、水より沸点の低い作動媒体を加熱することで作動媒体の蒸気を生成し、その蒸気を用いて発電する方式である。水で高圧蒸気を作るほどのエネルギーが無くても発電が可能のため、余剰熱エネルギーの有効活用ができる。

今回実証するバイナリー発電では、白煙防止空気

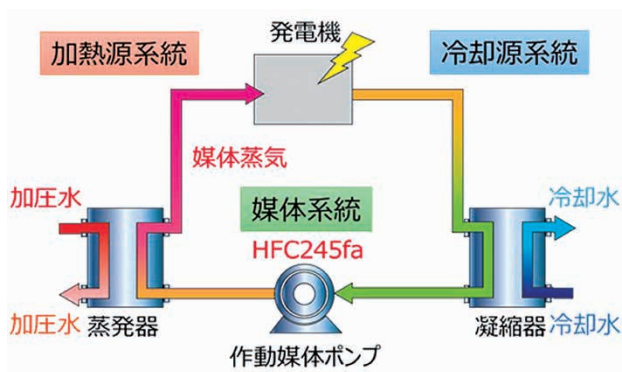


図3 バイナリー発電システム

の熱エネルギーを低沸点の作動媒体へ伝達する中間熱媒体として加圧水（100℃以上でも蒸発しないように加圧した温水）を使用した。また、白煙防止空気ラインを分岐し、加圧水と熱交換を行う白煙防止空気の流量・温度を変えることで発電機へ供給する熱量を調整した。

## 2. 実証試験

【環境配慮型創エネ焼却システム】の導入効果を確認するため、実証試験を行った。本章では実証試験の内容と結果を報告する。

### 2.1 施設

実証試験は神奈川県酒匂川流域下水道右岸処理場（扇町水再生センター）内の、2号焼却炉にて実施した。2号焼却炉のダクトを分岐することで、既存設備と実証試験のために付加した設備との接続を行っている。酒匂川流域下水道右岸処理場の施設概要を表1に、外観写真を写真1に示す。

### 2.2 運転実績

実証運転中の処理実績を表2に示す。実証試験では四季を通じて運転を行い、各季節において定格汚泥量での焼却（30 t/日）から低負荷汚泥量での焼却（21 t/日～27 t/日）運転で検証を行った。合計で120

表1 実証試験対象施設の概要

処理場名	神奈川県酒匂川流域下水道右岸処理場 （扇町水再生センター）
稼働開始	1997年7月～
下水処理能力	日最大 56 480 m <sup>3</sup> /日（2系列）
下水汚泥焼却能力	日最大 60 t/日 （30 t/日×2基、湿ベース）
汚泥処理方式	濃縮→脱水→焼却



写真1 施設外観

表2 実証運転の処理実績

	春季	夏季	秋季	冬季
実証運転期間	2019/3/5 ～4/22	2019/7/1 ～8/1	2019/10/1 ～10/25	2019/12/4 ～12/24
焼却運転日数 [ 定格：30 t/日 90%：27 t/日 80%：24 t/日 70%：21 t/日 ]	定格負荷×8日 90%負荷×5日 80%負荷×5日 70%負荷×2日 合計 20日	定格負荷×1日 90%負荷×7日 80%負荷×2日 70%負荷×1日 合計 11日	定格負荷×7日 90%負荷×1日 80%負荷×1日 70%負荷×1日 合計 10日	定格負荷×7日 90%負荷×2日 80%負荷×1日 70%負荷×1日 合計 11日
焼却量	839 t	566 t	466 t	484 t
立上運転	冷間立上×2回 熱間立上×16回	冷間立上×1回 熱間立上×14回	冷間立上×1回 熱間立上×8回	冷間立上×1回 熱間立上×4回
バイナリー発電 供給熱量	500～800 kW×16日	500～800 kW×12日	500～800 kW×7日	500～800 kW×8日

日間の焼却運転を行い、2355 tの汚泥を焼却した。また、バイナリー発電については、43日間（日中のみ）の運転を行い、データを取得した。

### 2.3 試験結果

流動空気タービンシステムが自吸状態となり、流動ブロワを停止した状態で定格負荷（30 t/日）の焼却運転を行い、消費電力量の削減効果を確認した。既設設備と実証設備における消費電力量の比較を図4に示す。なお、消費電力量の比較のため、秋季と冬季の間に既設フローで定格負荷運転を2日間実施し、得られた96.6 kWh/tを既設の消費電力量とした。

各季節の定格負荷運転における消費電力量は66.1 kWh/t～68 kWh/tであり、平均29.6 kWh/tの消費電力削減効果が確認できた。

また、バイナリー発電機の発電性能を図5に示す。本実証試験では発電性能確認のため、バイナリー発電機へ供給する熱量を変更して試験を行った。図5の通り、発電機への供給熱量が変動しても安定して発電できることを確認した。

### 3. 実施設への導入効果試算

共同研究の実証試験結果に基づき、処理量100 t/h規模の汚泥焼却施設へ【環境配慮型創エネ焼却システム】を導入した際の消費電力削減効果の試算を当社にて実施した。また、既存のN<sub>2</sub>O削減技術との組み合わせによる温室効果ガス排出量の削減効果と、全体のLCC比較結果についても評価する。

#### 3.1 電力削減効果の試算

100 t/日規模における電力削減効果を表3(a)に示す。消費電力から発電量を差し引いた電力は、従来システムに対して、約6割の削減効果との試算結

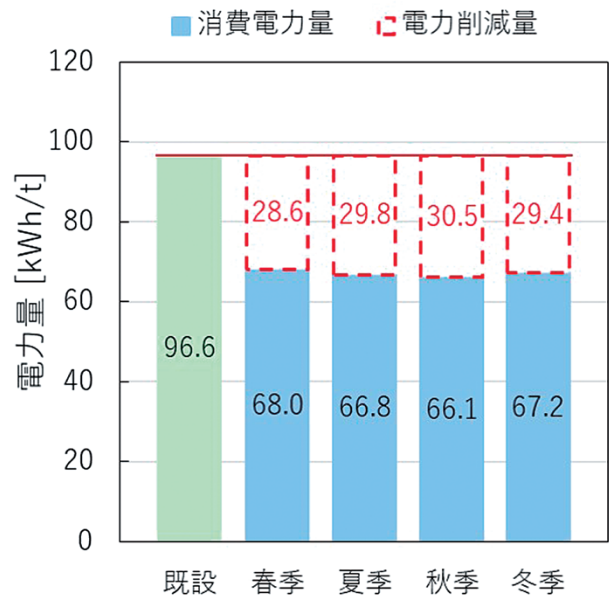


図4 消費電力量比較

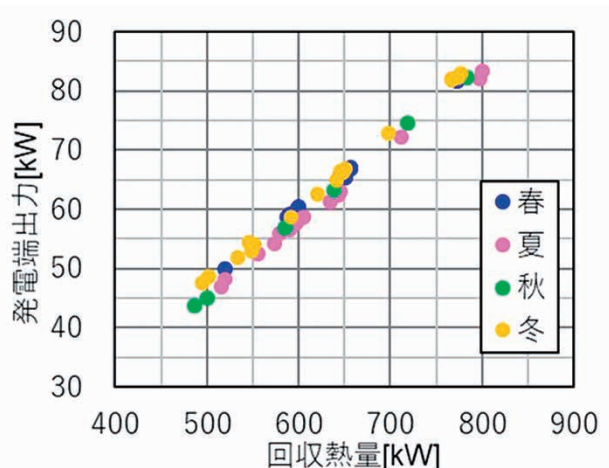


図5 バイナリー発電性能

表3 100 t/日規模での試算結果

(a) 電力削減効果 (従来システムの必要電力を100として)			(b) 温室効果ガス削減効果 (従来システムのCO <sub>2</sub> 換算温室効果ガス 排出量を100として)			(c) LCC 比較 (従来システムの合計値を100として)				
	従来 システム	適用 システム		従来 システム	適用 システム	提案 システム	従来 システム	適用 システム	提案 システム	
消費電力 (%)	100	74	N <sub>2</sub> O由来 (%)	86	86	27	建設費 (%)	54	55	55
発電量 (%)	0	34	電力由来 (%)	14	6	6	定期修繕費 (%)	35	37	37
必要電力 (%)	100	40	合計 (%)	100	92	33	電力費 (%)	11	4	4
削減効果 (%)	—	60	削減効果 (%)	—	8	67	合計 (%)	100	96	96

果が得られた。

### 3.2 温室効果ガス削減効果の試算

100 t/日規模における温室効果ガス削減効果を表3 (b) に示す。汚泥焼却炉の運転に必要な電力量を約6割削減することにより、温室効果ガスに関して、約1割の削減効果との試算結果が得られた。なお、「従来システム」と「適用システム」の他に、「提案システム」として、N<sub>2</sub>Oを大幅に低減可能な当社の気泡式高効率二段燃焼炉（地方共同法人日本下水道事業団のⅡ類新技術に2014年6月に選定）と適用システムを組み合わせた場合の結果も示す。提案システム（適用システム+気泡式高効率二段燃焼炉）では、CO<sub>2</sub>換算で6割以上の温室効果ガス削減効果が期待できる。

### 3.3 LCC 比較

100 t/日規模におけるLCC比較結果（従来システムの合計を100%とした時の比率）を表3 (c) に示す。流動空気タービンシステムとバイナリー発電システムの設備に要する建設費と修繕費は、20年間の電力削減効果により回収でき、温室効果ガス削減も含めて導入効果が得られることが確認された。特に、提案システム（適用システム+気泡式高効率二段燃焼炉）では、温室効果ガス削減に関して大きな効果が期待できる。

### 3.4 性能指標に対する効果

100 t/日規模における国土交通省発表の国水下水道第38号における性能指標に対する導入効果の試算結果を表4に示す。廃熱回収率40%以上と消費電力削減率20%以上の両方を達成することが確認できた。

## むすび

神奈川県酒匂川流域下水道右岸処理場にて「流動空気タービンシステム」と「バイナリー発電システム」を組み合わせた【環境配慮型創エネ焼却システ

表4 性能指標に対する効果

	基準値	従来 システム	適用 システム
廃熱回収率 (%)	40	24	47
消費電力削減率* (%)	20	79	92

※[消費電力削減率] = (1 - [計画する焼却炉の消費電力相当量] / [従来の焼却炉の消費電力相当量]) × 100 [従来の焼却炉の消費電力相当量 (kWh/t-DS)] = -0.480 × ln([年間焼却炉投入固形物量 (t-DS/年)]) + 5.51 但し、[年間焼却炉投入固形物量] ≤ 3 500 → 1.59, [年間焼却炉投入固形物量] ≥ 2 500 → 0.65, [計画する焼却炉の消費電力相当量 (kWh/t-DS)] = [[焼却炉の消費電力量 (kWh/年)] + [投入補助燃料量 (kJ/年)] × [単位発熱量 (MJ/kL)] ÷ 9.5 (MJ/kWh)] ÷ [年間固形物量 (t-DS/年)]

ム】の実証試験を行った。流動空気タービンシステムに関しては、焼却排ガスの熱エネルギーを動力源として流動空気タービンを自吸状態で運転させ、安定した焼却運転と消費電力量の削減が可能であることを確認した。バイナリー発電システムに関しては、白煙防止空気を熱源とした加圧水によるバイナリー発電が安定して行え、目標の発電効率が得られることを確認した。

共同研究の実証試験結果をもとに、100 t/日規模の下水汚泥焼却システムを想定した試算を当社にて実施したところ、従来システムと比較して消費電力量を6割削減し、さらに温室効果ガス排出量も1割削減できる試算結果が得られた。本試算結果を以て、国土交通省発表の焼却炉の性能指標「廃熱回収率40%以上かつ消費電力削減率20%以上」を達成できる見込みを得た。

これらの結果を踏まえ、エネルギー効率に優れた下水汚泥焼却技術としてPRしていきたい。

## 謝辞

最後に、共同研究者である神奈川県および関係各位の多大なるご協力に深く感謝の意を表します。